

植込み除細動器の除細動シミュレーション：本体右、左前胸部設置法の比較

公立大学法人 会津大学 生体情報学講座・朱欣

【背景】

日本では年間 5-6 万人は心臓性突然死（心臓麻痺）によって死亡する。心臓性突然死の 80%以上の死因は心室細動である。そして、心室細動の唯一の治療法は電氣的除細動である。その中、植込み除細動器（Implantable Cardioverter-Defibrillator; ICD）は心室細動の一次予防、二次予防、それに、生命予後を改善に対して、最も有効な治療法の 1 つである¹⁾。ただ、電氣的除細動の際に、体に流れる電流は強いので、従来の技術を用いて、体内の電位分布を計測することは不可能である。本研究は、コンピュータシミュレーションを用いて、本体を右前胸部、左前胸部に設置する場合に、植込み式除細動器除細動の効果を比較した。

【方法】

本研究は、アメリカ Utah 大学の Center for Integrative Biomedical Computing に開発した SCIRun ソフトを用いて、除細動のシミュレーションを行う²⁾。まず、ICD 本体を右・左前胸部に設置された 2 つの人体モデルを作成した（図 1）。2 つのモデルの右心室心腔における、ICD のリードを心尖部の近いところで設置された。次に、有限要素法を使い、体における電圧分布・電圧の空間微分を計算した。成功除細動が可能な電圧の空間差分閾値を 5 V/cm に、心筋にダメージを与えられる電圧の空間差分閾値を 30 V/cm にそれぞれ設定した³⁾。最後、除細動成功の条件は、95%以上の心筋細胞の電圧の空間差分が 5 V/cm を超えることを設定し、式(1)を用いて、除細動閾値(defibrillation threshold: DFT)を計算した。

$$DFT = 1/2CV^2, \quad (1)$$

C は ICD キャパシタンス（約 130 μ F）で、V は除細動が成功する条件を満足する場合にリードと本体間の最小電圧である。

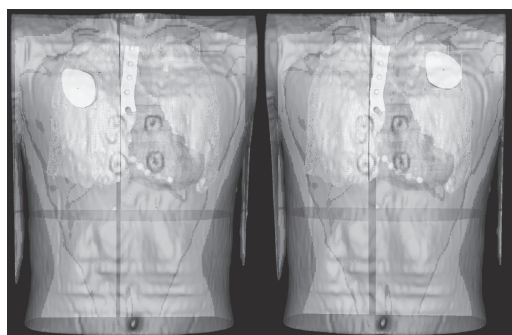


図 1. ICD 本体を右・左前胸部に設置された人体モデル。

【結果】

図 2 は ICD リード(+)と本体(-)の電圧を 450V に設定する場合、モデル内の電位分布を示している。表 1 は右、左前胸部

設置法の DFT 及び DFT に対応する電圧である。表 1 から ICD は左前胸部に設置する場合は、右前胸部に設置する場合より、DFT が明らかに低いことが分かり、臨床の所見と一致する。

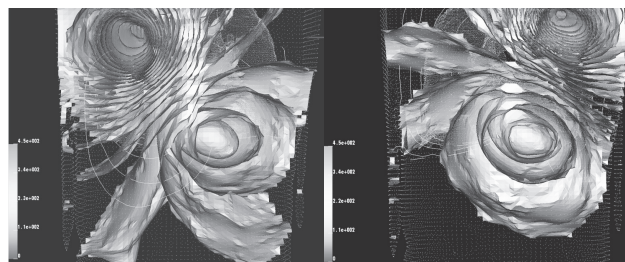


図 2. ICD リード(+)と本体(-)の電圧を 450V に設定する場合に、ICD 本体を右・左前胸部に設置されたモデル内の電位分布。

表 1. 右、左前胸部設置法の DFT 及び DFT に対応する電圧。

	DFT	DFT 際の電圧	DFT 際の心筋ダメージレート
右前胸部設置	35.1 J	735 V	13.1%
左前胸部設置	11.2 J	415 V	3.8%

【考察】

コンピュータシミュレーションを用いて除細動時の体内電圧分布を再現し、右・左前胸部設置法の除細動閾値を推定でき、シミュレーションで示した結果は臨床所見と一致していることも確認できた。

【結論】

本研究は、ICD 研究分野において、コンピュータシミュレーションは有用なツールであることを証明できた。現在は、コンピュータシミュレーションを用いて、より低リスク、低エネルギーの除細動技術の研究開発及び検証を行っている。

【文献】

- 1) 奥村 謙ら. 不整脈の非薬物治療ガイドライン(2011 年改訂版), <http://www.j-circ.or.jp/guideline/>.
- 2) Steffen M, Tate J, Stinstra J, Defibrillation tutorial, <http://software.sci.utah.edu>.
- 3) Triedman JK, Jolley M, Stinstra J, Brooks DH, MacLeod R, Predictive modeling of defibrillation using hexahedral and tetrahedral finite element models: recent advances, Journal of Electrocardiology, 41, pp. 483-486, 2008.

【謝辞】

This work was made possible in part by software from the NIH/NIGMS Center for Integrative Biomedical Computing, 2P41 RR0112553-12. そして、東邦大学医療センター大橋病院循環器内科の野呂真人先生、ボストン・サイエンティフィックジャパン株式会社の村上和也様、立浪宏行様、及び川泰宏様に感謝する。